

# Porous mineral light-weight aggregate granulate and process for the production thereof

Publication number: DE3908172 (A1)

Publication date: 1990-09-20

Inventor(s): GUMBMANN ANDREAS DIPLOM ING [DE]; MOERTEL HEINRICH DR [DE]

Applicant(s): GUMBMANN ANDREAS DIPLOM ING [DE]

Classification:

- international: C04B18/02; C04B20/06; A62D3/00; C04B18/00; C04B20/00;  
(IPC1-7): A62D3/00; B01J6/00; C04B18/30; C04B20/10;  
C04B38/00

- European: C04B20/06D; C04B18/02L

Application number: DE19893908172 19890313

Priority number(s): DE19893908172 19890313

Also published as:

 DE3908172 (C2)

Cited documents:

 DE1196113 (B)

 DE1154753 (B)

## Abstract of DE 3908172 (A1)

The invention relates to a porous, expanded and/or sintered and/or fired (burnt out) light-weight aggregate granulate (granular material), prepared from a moist mixture of sewage (effluent) sludge, fly ash and clay body by granulation of the mixture to give pellets, drying of the pellets, ceramic firing with expansion (bloating) of the pellets and cooling of the fired granulate, with expanded granules being formed as a result of the production process, which granules have a closed sintered skin on the surface, with the grain of the granulate forming a core of a fired mixture of sewage sludge, fly ash and clay body.; The invention further relates to a process for producing light-weight aggregate granulates and a process for producing pellets of the above-described type, in which, for the production of pellets, the mixture of sewage sludge, fly ash and clay body is first granulated to form a pellet core, a clay body shell is subsequently applied to the core and a limestone meal (flour) shell is applied to the clay body shell, and the firing is carried out in a fluidised bed, with, in particular, pellets being fed in continuously and separated, porous granulate being discharged.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database — Worldwide

14 (19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(11) **DE 3908172 A1**

(21) Aktenzeichen: P 39 08 172.9  
(22) Anmeldetag: 13. 3. 89  
(23) Offenlegungstag: 20. 9. 90

(51) Int. Cl. 5:  
**C04B 38/00**

C 04 B 18/30  
C 04 B 20/10  
A 62 D 3/00  
B 01 J 6/00  
// (C04B 32/00, 14:10,  
18:08, 18:04, 18:12,  
22:10,  
18:30) B01J 2/00

**DE 3908172 A1**

(71) Anmelder:  
Gumbmann, Andreas, Dipl.-Ing., 8522  
Herzogenaurach, DE

(74) Vertreter:  
Solf, A., Dr.-Ing., 8000 München; Zapf, C., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 5600 Wuppertal

(72) Erfinder:  
Gumbmann, Andreas, Dipl.-Ing., 8522  
Herzogenaurach, DE; Mörtel, Heinrich, Dr., 8521  
Möhrendorf, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Poröses mineralisches Leichtzuschlagstoffgranulat sowie Verfahren zu seiner Herstellung

Die Erfindung betrifft ein poröses geblähtes und/oder gesintertes und/oder ausgebranntes Leichtzuschlagstoffgranulat, hergestellt aus einem feuchten Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz, durch Granulieren des Gemisches zu Pellets, Trocknen der Pellets, keramisches Brennen mit Blähen der Pellets und Abkühlung des gebrannten Granulats, wobei aufgrund des Herstellungsvorfahrens geblähte Granulatkörper gebildet werden, die oberflächlich eine geschlossene Sinterhaut aufweisen, wobei das Korn des Granulats einen Kern aus einem gebrannten Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz bildet. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Leichtzuschlagstoffgranulaten und ein Verfahren zur Herstellung von Pellets der vorbeschriebenen Art, wobei zunächst für die Herstellung Pellets das Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz zur Bildung eines Pelletkerns granuliert wird, anschließend auf dem Kern eine Tonsubstanzhülle und auf die Tonsubstanzhülle eine Kalksteinmehlhülle aufgebracht werden, und daß das Brennen in einer Wirbelschicht durchgeführt wird, wobei insbesondere kontinuierlich Pellets zugeführt und gesondertes, poröses Granulat abgeführt werden.

**DE 3908172 A1**

## Beschreibung

5 Zweck der Erfindung ist, unter Verwendung der beiden mengenmäßig größten bekannten Abfallstoffe, nämlich Klärschlamm, insbesondere der Abwasserreinigung, und Flugasche, insbesondere aus Kraft- und Heizwerken, einen neuen Werkstoff in Form eines Leichtzuschlagstofgranulats zu schaffen, die die DIN-Normen erfüllt und marktgängige Produkte gleicher Art an Qualität übertrifft.

10 Aus der DE-AS 23 36 267 ist ein Verfahren zur Beseitigung von durch Zentrifugieren entwässertem Klärschlamm zur Herstellung von Ziegelsteinen bekannt, wobei der Klärschlamm dem Ziegelton beigemischt, die geformte Masse getrocknet und bei einer Temperatur über 1000°C gebrannt wird. Die im Trocknungsprozeß entstehenden belastenden Gase werden in den Tunnelofen zur Verbrennung überführt. Dabei kann dem Klärschlamm Abfallöl zugesetzt werden.

15 In der DE-OS 35 13 485 wird ein Verfahren zur Herstellung von Leichtbetonzuschlag aus Müll und Ton beschrieben, wobei aus Müll, Ton und Wasser Pellets hergestellt und diese Pellets in einer Blähzone mittels Heißgasen erhitzt werden. Die feuchten Pellets werden zunächst in einer Vorwärmzone mittels einer ersten Teilmenge der heißen Abgase der Blähzone getrocknet und vorgewärmt, ehe sie der Blähzone zugeführt werden. Die Abgase der Vorwärmzone werden mittels einer zweiten Teilmenge der heißen Abgase der Blähzone auf eine zum Desodorieren der Abgase der Vorwärmzone ausreichenden Temperaturen erhitzt. Die Trocknung und Vorwärmung der Pellets kann in der Vorwärmzone mittels heißer Abgase der Blähzone im Gegenstrom erfolgen. Die Pellets werden anschließend in der Blähzone mittels Heißgasen im Gleichstrom, und zwar in einem Drehrohrofen, erhitzt. Das in dieser Druckschrift beschriebene Verfahren geht davon aus, daß es erforderlich ist, den die Blähzone bildenden Drehrohrofen im Gleichstrom zu beheizen, um einen ausreichenden Bläheffekt zu erzielen. Dadurch werden jedoch die feuchten Pellets beim Eintritt in die Blähzone einem so hohen Temperaturgradienten ausgesetzt, daß sie im allgemeinen bereits bei der ersten Berührung mit den heißen Gasen platzen. Trocknet man dagegen die feuchten Pellets zunächst und wärmt sie dann vor, ehe sie der Blähzone aufgegeben werden, so treten wegen des in die Pellets eingebundenen Mülls erhebliche Geruchsprobleme auf. Diese Nachteile sollen mit dem in der Druckschrift beschriebenen Gegenstand beseitigt werden, indem die Pellets unter Vermeidung von Geruchsproblemen schonend erhitzt werden und zugleich ein wärme-günstig technischer Wirkungsgrad erzielt wird.

20 Gemäß der DE-OS 31 50 993 wird bei der Abwasserklärung anfallender Schlamm dadurch entsorgt, daß der Schlamm mit Flugasche vermischt wird, dann das Gemisch granuliert, getrocknet und gebrannt wird, wobei es bläht und nach dem Erkalten als Leichtzuschlagstoff verwendbar ist. Als Zusatzstoff kann auch feingemahlener Ton im Gemisch mit Flugasche dienen. Die Trocknung soll so durchgeführt werden, daß die im Schlamm enthaltenden Schadstoffe nicht ausgetragen werden. Das Brennen und Blähen soll im Drehrohrofen erfolgen. Die Abluft des Drehrohrofens kann zur Trocknung verwendet und die Abluft aus dem Brennvorgang und dem 25 Trocknungs vorgang gereinigt werden, wobei die anfallenden Staubpartikel als Zuschlagstoff wie Flugasche der Mischung zugesetzt werden können. Das Verhältnis von Schlamm zu Zuschlagstoff wird mit 70 : 30 angegeben. Nach Erstellen des richtigen Wassergehalts für die Granulierung wird die Mischung aus einem Zwangsmischer abgeführt und granuliert. Das Granulat bzw. die Pellets werden dann in einem Bandtrockner bei 300 bis 400°C gleichmäßig getrocknet, wodurch das Granulat vorerwärmtd und in seiner Form stabilisiert wird. Hierbei wird die 30 Trocknung so vorgenommen, daß die vorhandenen Schadstoffe nicht ausgetragen und insbesondere die organischen Bestandteile nicht zur Entgasung gelangen. Nach der Trocknung wird das Granulat gebrannt und dabei gebläht. Das Granulat wird auf der der Flamme gegenüberliegenden Stirnseite eines Drehrohrofens in die zur Flamme schräg abfallende Trommel des Drehrohrofens eingeführt und durch die Rotation der Trommel zur Flamme gefördert. Durch den Eintritt in die Trommel des Drehrohrofens, in dessen Flammenbereich eine 35 Temperatur von 1000 bis 2000°C herrschen soll, erfolgt ein Temperaturschock, der zu einer geschlossenen Sinterhaut des Granulats bzw. der Pellets führen soll, so daß die Inhaltstoffe der Pellets organische Substanzen, insbesondere auch Schwermetalle, Pestizide, Phenole, aromatische Kohlenwasserstoffe, Phosphate und andere fest eingeschlossen werden. Durch die Rotation der Trommel wird das Granulat kontinuierlich der Flamme näher gebracht, wobei das Pellet bzw. Granulat dem Bereich der Maximaltemperatur von 1200°C zugeführt 40 wird. Während des Durchlaufens des Drehrohrofens wird der Blähvorgang vollzogen, durch den jedes Granulat bzw. Pellets seine Leichtstoffeigenschaften erhält. Durch die Zuminzung von blähverzögernden Substanzen wird der Blähvorgang in Temperaturbereiche verlagert, die sicherstellen sollen, daß eine geschlossene Sinterhaut vor Einsetzen des Blähvorgangs gebildet wird, so daß alle Inhaltstoffe des Sediments eingeschlossen sind. Durch den Brennvorgang im Drehrohrofen wird das Granulat bzw. Pellet auf seine hohe Endfestigkeit erhärtet. 45 Nach Abführen des Granulats aus dem Drehrohrofen wird es in einer Kühlvorrichtung langsam abgekühlt und zur Weiterverarbeitung vorzugsweise nach Korngröße sortiert in Silos gelagert. Das geblähte Granulat soll als Leichtzuschlagstoff ähnlich Blähton zur Herstellung von Bausteinen oder konstruktivem Leichtbeton verwendet werden. Das Schüttgewicht ist gering und die Druckfestigkeit hoch. Als Zuschlagstoff wird vornehmlich Flugasche aus Kraftwerken verwendet, damit deren Entsorgung ebenfalls gesichert wird. Das bekannte Verfahren soll die stabile Bindung der im Schlamm auftretenden Schwermetalle und anderer Giftstoffe im geblähten Granulat gewährleisten, so daß diese Stoffe dem natürlichen Kreislauf als Schadstoffe entzogen sind. Es hat sich jedoch gezeigt, daß das Verfahren im Drehrohrofen nicht beherrschbar ist derart, daß die geblähten Granulate die genannten Anforderungen erfüllen. Besondere konnte nicht gewährleistet werden, daß eine geschlossene 50 Sinterhaut gebildet wird.

55 Aus diesem Grunde sind die in der Druckschrift beschriebenen Produkte nicht auf dem Markt. Schlamm mit Flugasche zu mischen zur Herstellung keramischer Formkörper geht aus der EP-OS 01 68 532 hervor. Die Gase und Dämpfe, die während des Trocknens und Brennens entstehen, werden gesammelt und nachverbrannt sowie gereinigt. Dieses bekannte Verfahren soll gegenüber dem aus der DE-OS 31 50 993

bekannten Verfahren dadurch, daß ein oxidierendes Brennen durchgeführt wird, ergeben, daß die Metalle immobilisiert werden, so daß keine schützende Haut mehr erforderlich ist.

Zudem wird in der DE-PS 11 73 829 ein Verfahren zur Herstellung von gesinterten Leichtzuschlagstoffen für Baustoffe aus Filter- und Flugasche angegeben, bei dem das zur Granulierung des trockenen Flugaschenstaubs erforderliche Wasser in Form von Klärschlamm mit 90 bis 95% Wasser und einem Heizwert des Feststoffanteils, der der Verdampfungswärme des im Klärschlamm enthaltenen Wassers entspricht, zugesetzt wird, wobei die Zusatzmenge zwischen 15 und 50% Klärschlamm betragen kann. Der Zusatz richtet sich außer nach der jeweils erforderlichen Unterbringung von Klärschlamm nach der Konsistenz des Granulats und nach der Brennanlage. Es wird hervorgehoben, daß ein Zusatzbrennstoff entfallen oder auf einen minimalen Betrag reduziert werden kann. Der Umstand, daß der Heizwert des Feststoffanteils des Klärschlammes etwa so groß ist wie die Verdampfungswärme seines Wasseranteils, wirkt sich insofern günstig aus, als es dadurch möglich ist, den Klärschlammanteil ohne wesentliche Beeinträchtigung der Energiebilanz zu verändern. Bei großem Klärschlammansatz und bei geringer Sintergränulatnachfrage wird mit größeren Klärschlammanteilen gearbeitet und umgekehrt.

Klärschlamm enthält in der Regel erhebliche Schwermetallgehalte und gegebenenfalls toxische organische Verbindungen. Die Weiterverarbeitung ist zudem mit einem Geruchsproblem behaftet. Flugasche enthält ebenfalls Schwermetalle, und wenn sie aus Müllverbrennungsanlagen stammt, kann sie auch Dioxine enthalten. Aus diesen Gründen sind bislang keine Leichtzuschlagstoffe auf dem Markt bekannt geworden, die aus Klärschlamm und Flugasche hergestellt worden sind, weil — wie oben erwähnt — den bekannten Verfahren der Nachteil anhaftet, daß sie mit den Schwermetall- und Giftproblemen nicht fertig werden.

Bei der konventionellen Leichtzuschlagstoffherstellung werden in der Regel frühsinternde Tone und Lehme verwendet, die beim Aufheizen im Temperaturbereich zwischen 1000 bis 1200°C eine dichte pyroplastische Sinterhülle bilden, während im Innern des Körpers noch Gase entstehen. Diese Gase vermögen die viskosen Körper aufzublähen. Hierfür sind bestimmte Flußmittelgehalte erforderlich. Für die Herstellung wird der Rohstoff vermahlen, homogenisiert, pelletiert oder granuliert und dann der Temperaturbehandlung unterworfen. Man unterscheidet bei der Aufbereitung zwischen trockenen, halbnassen und nassen Verfahren. Ziel ist immer, eine möglichst gute Homogenität. Bei der Formgebung werden zwei verschiedene Verfahren angewendet: Granulieren und Pelletieren. In Granulierapparaten wird den aufgemahlenen Rohstoffen Wasser zugesetzt und durch Abrollbewegungen entstehen dann kugelförmige Körper. Beim Pelletieren werden die Tone durch Pressen verdichtet. Dabei entstehen dann zylindrische Formlinge. Die Temperaturbehandlung der Formlinge geschieht in der Regel in Drehrohröfen; diese werden im Gegenstrom betrieben und bestehen aus Vorwärmern und Kühler.

Die Anforderungen an Leichtzuschlagstoffe sind eine möglichst kugelige Kornform, gleichmäßig verteilte Porigkeit eine dichte Außenhaut und möglichst hohe Festigkeit bei geringer Rohdichte. Verwendungsmöglichkeiten für Leichtzuschlagstoff finden sich im Leichtbeton, bei zementgebundenen Steinen und vor allem im Dämm- und Isolierstoffsektor. Bei der konventionellen Leichtzuschlagstoffherstellung können nur Pellets größer etwa 4 mm produziert werden; kleinere Teilchen würden bei den hohen Temperaturen im Ofen mit den größeren zusammensintern. Die Korngrößen kleiner 3 mm werden daher durch Brechen hergestellt. Ein besonderer Nachteil ist der relativ hohe Energieverbrauch der Drehrohröfen.

Aufgabe der Erfindung ist, ein Leichtzuschlagstoffgranulat ohne offene Porosität aus erheblichen Mengen Klärschlamm und Flugasche herzustellen, insbesondere mit Körnungen unter 4 mm, wobei die Schadstoffe der Rohstoffe unschädlich gemacht bzw. kontrolliert entsorgt werden können.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1, 12 und 32 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den von diesen Ansprüchen abhängigen Unteransprüchen gekennzeichnet.

Im Rahmen der Erfindung wurde das Wirbelschichtbrennverfahren ausgewählt.

Die Wirbelschicht-Technologie, die im Winkler-Generator Mitte der 20iger Jahre zum ersten Mal großtechnisch für die Kohlevergasung eingesetzt wurde, nahm in den 40iger Jahren einen stürmischen Aufschwung; allerdings erfolgt der Einsatz meist in der chemischen Technik für katalytische Prozesse. Obwohl es viele Vorteile der Wirbelschicht-Technologie gegenüber anderen Verfahren gibt, konnte sie sich nicht auf anderen technischen Gebieten durchsetzen. Grund dafür wohl eine fehlende schlüssige Theorie zur Berechnung von Wirbelschichten sein. Dies erfordert für jede neue Wirbelschichtauslegung umfangreiche Vorversuche im halbtechnischen Maßstab. Auch die bisher entwickelten Modelle zur Blasenbildung und die Wärme- und Stoffübertragungsfunktionen widersprechen sich zum Teil erheblich, so daß diese Funktionen im Prinzip für jede Wirbelschicht neu entwickelt werden müssen. Eine Wirbelschicht, auch Fließbett genannt, entsteht wie folgt: Eine Schüttung von in der Regel feinkörnigen Partikeln wird von unten durchströmt. Bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten durchströmt das Strömungsmittel die Hohlräume der Schüttung. Wird die Geschwindigkeit des Strömungsmittels allmählich gesteigert, so erhöhen sich die Kräfte, die von Strömungsmittel auf die Schüttung übertragen werden; einige Partikel beginnen bereits in einem begrenzten Volumen zu vibrieren, das Festbett als solches bleibt aber noch erhalten. Mit weiter steigender Geschwindigkeit des Strömungsmittels wird die Bewegung der Partikel immer heftiger, bis sich die Feststoffschüttung auflockert und in den Fließzustand übergeht. Hierbei sind die Teilchen im Strömungsmittel suspendiert und haben keinen permanenten Kontakt mehr zueinander. Die Geschwindigkeit, bei der dieser Zustand eintritt, wird als Minimalfluidisierungsgeschwindigkeit bezeichnet. Wird die Geschwindigkeit weiter gesteigert, so expandiert die Wirbelschicht und es setzt Blasenbildung ein, da der über die Minimalfluidisierungsgeschwindigkeit hinausgehende Gasanteil das Fließbett in Form von feststofffreien Blasen durchströmt. Eine weitere Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit führt schließlich zum Austrag der ersten Teilchen. Die Wirbelschicht kann in diesem Bereich nur noch durch Feststoffzufuhr erhalten werden. Bei einer bestimmten Gasgeschwindigkeit schließlich wird der Feststoff direkt wieder ausgetragen, d. h. der Bereich der pneumatischen Förderung beginnt.

Die Einteilung der Wirbelschichtverfahren erfolgt im allgemeinen in zwei Gruppen: Verfahren mit nicht

katalytischen Reaktionen und Verfahren mit katalytischen Reaktionen. Zur ersten Gruppe gehören beispielsweise die Herstellung von Aktivkohle, das Chlorieren von Kalk das Kalkbrennen, das Zementbrennen, die Verbrennung von Klärschlamm und Müll in der Wirbelschicht, die Sodaherstellung, die Aufheizung und Trocknung von Massengütern z. B. Sand, und vieles andere mehr. Die Reaktionen der zweiten Gruppe gehören vor allem in den

5 Bereich der technischen Chemie.

Besondere Vorteile der Wirbelschicht-Technologie sind:

- Das Fließbett zeigt ein flüssigkeitsähnliches Verhalten.
- Der Wärmeübergangskoeffizient und der Stofftransport sind sehr hoch.
- 10 — Durch einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten und die große Wärmekapazität ergibt sich eine gute Temperaturkonstanz.
- Lokale Überhitzungen treten nicht so leicht auf.
- Die Temperatur kann relativ leicht und genau geregelt werden.
- 15 — Die Gesamtteilchenoberfläche nimmt an Reaktionen teil.
- Der Druckverlust ist in weiten Bereichen unabhängig vom Gasdurchfluß.
- Ein Wirbelschichtreaktor ist konstruktiv einfach.
- Die Anfahr- und Abstellzeiten sind kurz.
- Die Leistungsdichte ist im Vergleich zu anderen Reaktoren höher.
- Beim Aufheizen können steile Temperaturgradienten erzielt werden.

20 Für die Wirbelschichtfeuerungen ergeben sich zusätzliche Vorteile:

- Im Vergleich zu einer Staubfeuerung ist die Oberfläche geringer und deshalb sind die Abdampfverluste geringer und die Einbindegrade für verschiedene Schadstoffe höher.
- 25 — Die Stickoxidemission ist bei der Verbrennung geringer.
- Es können niederkalorische Brennstoffe verbrannt werden.
- Die Verbrennung ballastreicher Brennstoffe ist möglich.

Diesen Vorteilen stehen einige Nachteile gegenüber:

- 30 — Hohe Gasdurchsätze bewirken starken Austrag.
- Starke Bettbewegung bedingt Teilchenabrieb.
- Das Teilchenspektrum muß vorher auf eine bestimmte Verteilung eingestellt werden.
- Sehr feine Güter neigen zum Agglomerieren.
- 35 — Der thermische Wirkungsgrad ist meist nicht so hoch wie bei anderen Reaktoren. Er kann aber durch mehrstufige Anordnung oder Wärmetauscher erhöht werden.
- Maßstabsvergrößerung ist im allgemeinen schwierig.
- Feststoffe neigen bei hohen Temperaturen zum Sintern und Agglomerieren.

40 Speziell der Nachteil der Agglomeratbildung bei hohen Temperaturen war Anlaß einiger Untersuchungen in den späten 50iger Jahren bis Mitte der 70iger Jahre. Besonderes Augenmerk galt dabei der Hochtemperaturkohlevergasung in der Wirbelschicht. Es wurde sogar versucht, die Tendenz zur Agglomeratbildung bei hohen Temperaturen auszunutzen. Ein Beispiel dafür ist das Zementbrennen in der Wirbelschicht nach Fuller und Pyzel. Bei diesem Verfahren wird ein Fließbett mit fertiggebrannten runden Klinkerteilchen enger Kornverteilung auf etwa 1400°C erhitzt. Dann werden die feingemahlenen Zementrohstoffe, Kalkstein und Ton am Boden des Fließbetts zugegeben. Durch die hohen Wärmeübergangskoeffizienten in der Wirbelschicht erreichen die Rohstoffe sehr schnell die Reaktionstemperatur und bilden teilweise eine Schmelze. Diese legt sich an der Oberfläche der bereits vorhandenen Klinkerteilchen an, die dadurch an Größe zunehmen. Das Produkt verläßt kontinuierlich durch einen Überlauf das Fließbett und wird dann klassiert. Das Unterkorn wird dem Reaktor wieder zugeführt, Klinkerteilchen der richtigen Größe kommen zur Zementmühle. Dieses bekannte Verfahren hat sich nicht durchsetzen können. Gründe dafür waren nicht die Probleme mit dem Fließbettreaktor, sondern der zu hohe Energieverbrauch und vor allem das Fehlen von standfesten Hochtemperaturwärmetauschern.

55 Sieggel fand 1976, daß das Zusammenbrechen des Fließbetts durch Sinter- und Schmelzerscheinungen ein genau definiertes Phänomen ist und daß Ergebnisse vom Dfluidisierungsexperimenten reproduzierbar sind. Es gilt nämlich für jedes Fließbett eine charakteristische Temperatur, unterhalb derer das Fließbett bei der Minimfluidisierungsgeschwindigkeit betrieben werden kann. Soll das Fließbett bei höheren Temperaturen betrieben werden, so muß eine höhere Fluidisierungsgeschwindigkeit gewählt werden. 1985 wurde dann ein theoretisches Modell zur Agglomeration von Fließbetten von Tardos Mazzone und Pfeffer erarbeitet. Dieses Modell liefert eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten, sofern die Oberflächenviskosität und die Festigkeit der Agglomerate in Abhängigkeit von der Temperatur bekannt sind. Zwar können die obengenannten Arbeiten auch keine exakte Auslegung der Wirbelschicht auf theoretischem Weg liefern, sie zeigen jedoch, daß es möglich ist, eine Wirbelschicht auch bei höheren Temperaturen zu betreiben. Konstruktive Elemente einer Wirbelschichtapparatur, wie z. B. der Anströmboden oder die günstigste Geometrie, müssen nach wie vor experimentell ermittelt werden. Aus all diesen Schwierigkeiten wird deutlich, daß das Wirbelschichtverfahren insbesondere dann nicht ohne weiteres verwendbar ist, wenn besonders kleine Teilchen zu brennen sind und wenn dabei Materialien zum Einsatz kommen, die unkontrollierbar schmelzen.

60 Wegen der Gefahr der Agglomeratbildung bot sich somit das Wirbelschichtverfahren von vornherein nicht zur Herstellung der erfundungsgemäßen Granulate kleiner Korngrößen an.

Zur Herstellung der erfundungsgemäßen Granulate eignet sich insbesondere Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen. Der Schlamm kann thermisch getrocknet eingesetzt werden, wobei der Feuchtigkeitsgehalt bei etwa 6 bis 10% liegt. Vorzugsweise wird aber Klärschlamm verarbeitet, wie er in einer Schlammentwässerungsanlage anfällt bzw. thermisch konditionierter Klärschlamm mit Feuchtigkeitsgehalten zwischen 45 und 60%.

Typischerweise weist der für die Zwecke der Erfindung geeignete Klärschlamm die folgenden Bestandteile auf: Quarz, Eisenoxid, Calcium-Aluminium-Siliciumoxide und Spuren von anderen Metalloxiden.

Als weitere Rohstoff zur Herstellung der erfundungsgemäßen Granulate dient Flugasche aus der Stromerzeugung und/oder aus Heizkraftwerken. Die derzeitigen Hauptabnehmer für Flugasche aus Kraftwerken sind die Beton- und Zementwerke, die aber nur Aschen mit einem Rest Kohlenstoffgehalt kleiner 5% verwenden können. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können in vorteilhafter Weise Aschen mit hohen und variablen Kohlenstoffgehalten, wie sie häufig bei kleineren Kesseln oder im Teillastbetrieb anfallen, kostengünstig verwendet werden.

Die Asche wird meist in elektronisch arbeitenden Filtern aufgefangen und in Silos gelagert. Für die Erfindung besonders geeignete Flugaschen weisen die kristallinen Bestandteile Quarz, Mullit, Hämatit und Calciumsulfate auf neben einer Hauptmenge glasiger Calciumalumonsilikate.

Zusätzlich zu den Hauptbestandteilen Klärschlamm und Flugasche wird blähhafte Tonsubstanz verwendet. Vorzugsweise wird eine an sich bekannte Tonsubstanz wie Lias-Ton gemahlen und getrocknet eingesetzt, wie er zur Blähtonherstellung verwendet wird. Die Tonsubstanz spielt im erfundungsgemäßen Verfahren nur als Flüssmittel und Bindepolymer eine Rolle. Der Ton, der besonders für die Herstellung der erfundungsgemäßen Leichtzuschlagstoffgranulate geeignet ist, weist im wesentlichen kaolinitische und illitische Bestandteile und Quarz sowie in geringen Mengen Goethit, Magnetit und Anorthit auf.

Schließlich wird als vierte Komponente Kalksteinmehl verwendet. Es ist bekannt, daß Kalksteinmehl in Kohlekraftwerken zur Direktentschwefelung eingesetzt werden kann. Es ist außerdem bekannt, Kalksteinmehl zur Bepuderung bei der Blähtonherstellung zu verwenden, um ein Verkleben von Pellets bei hohen Temperaturen zu verzögern.

Im Rahmen des erfundungsgemäßen Herstellungsverfahrens ist als besonders vorteilhafter Verfahrensschritt vorgesehen, Pellets mit einem zonaren Aufbau herzustellen. Zu diesem Zweck werden zunächst Pelletkerne aus Klärschlamm-Tonsubstanz-Flugasche erzeugt. Dies geschieht z. B. auf folgende Weise: Der feuchte Klärschlamm und die trockene Flugasche werden mit Tonsubstanz in einem solchen Mengenverhältnis z. B. in einem Eirich-Pelletiermischer gemischt, daß nach kurzer Zeit im Mischer eine krümelige Masse vorhanden ist. Dann wird Wasser eingedüst, bis sich kleine Pelletkerne bis zu 4 mm Durchmesser bilden. Als erste Hülle wird dann Tonsubstanz zugegeben, bis eine dünne Hülle auf den Pellets sichtbar ist. Zum Schluß wird noch mit Kalksteinmehl bepudert. Der zonare Aufbau der Pellets hat mehrere Vorteile. Erstens werden die Abfallstoffe Klärschlamm und Flugasche in der Mitte der Pellets eingebunden. Zweitens erreicht man durch eine ausreichend dicke Hülle aus Tonsubstanz ein Verhalten der Pellets, das dem von herkömmlichen Tonpellets ähnlich ist. Drittens bringt das Bepudern mit Kalk Vorteile; das Kalksteinmehl bewirkt nämlich eine gewisse Menge an Schmelzphase an der Grenze Tonsubstanz/Kalksteinmehl und das überschüssige nicht reagierende Kalksteinmehl an der Oberfläche hält das Pellet beim Brennvorgang nach außen hin trocken und verhindert so ein Verkleben. Weiterhin kann durch das nichtreagierende Kalksteinmehl auch eine Direktentschwefelung von Gasen während des Brennens erzielt werden.

Die Pelletierfeuchte beträgt vorzugsweise zwischen 12 und 40, zwischen 25 und 35%.

Die feuchten Pellets aus dem Granuliervorgang werden zweckmäßigerweise bei 100 bis 140°C, vorzugsweise bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Zum Trocknen mit Luft eignet sich insbesondere ein an sich bekannter Wirbelschichttrockner, in dem zweckmäßigerweise zugleich auch die Minimalfluidisierungsgeschwindigkeit des Wirbelgutes ermittelt wird. Getrocknet wird z. B. bei Zulufttemperatur von 130 bis 150°C und Trocknungszeiten von 0 bis 10 Minuten, vorzugsweise 3 bis 7 Minuten.

Nach dem Trocknen erfolgt vorzugsweise eine Klassierung der Pellets in die Kornklassen kleiner 0,5; 0,5 bis 1; 1 bis 2; 2 bis 4 und größer 4 mm. Die Kornklassen kleiner 0,5 und größer 4 mm werden als Unter- bzw. Überkorn aus dem Prozeß genommen.

Das Brennen der vorzugsweise getrockneten Pellets wird erfundungsgemäß in einer Wirbelschicht durchgeführt. Besonders geeignet ist ein Hochtemperaturwirbelschichtofen mit einem Anströmboden und einer Vorwärmleinrichtung für die Wirbelluft, die auf z. B. etwa 600°C vorgewärmt wird. Als Brennstoff kann Öl oder Braunkohlegrus dienen, wobei die Brennstoffe zweckmäßigerweise von oben unmittelbar über der Wirbelschicht zugeführt werden. Der Abzug der gebrannten Pellets kann seitlich mit Hilfe eines Überlaufs erfolgen.

Vorteilhaft ist, die Rohstoffe so zusammenzustellen, daß die getrockneten Pellets einen oberen Heizwert zwischen 500 und 9000 kJ/kg und einen unteren Heizwert zwischen 400 und 8600 kJ/kg aufweisen.

Die Granulation verläuft problemlos, zumal auf bestehende Technologie zurückgegriffen werden kann. Es zeigte sich, daß die folgenden Mischungen besonders geeignet sind.

#### Kern

10 bis 60 Gew.-% thermisch getrockneter Klärschlamm

10 bis 50 Gew.-% Flugasche

5 bis 50 Gew.-% Tonsubstanz

#### 1. Hülle

10 bis 40 Gew.-% Tonsubstanz

#### 2. Hülle

## 10 bis 40 Gew.-% Kalksteinmehl

Im Regelfall wird nur der Kern pelletiert; die beiden Hälften werden ohne weitere Wasserzugabe aufgebracht. Die Pelletierfeuchte beträgt 12 bis 40%. Bei Verwendung von Klärschlamm aus einer Schlammentwässerungsanlage wird die Zugabe so gewählt, daß sie den gleichen Glührückstand wie thermisch getrockneter Schlamm aufweist. Durch sorgfältige Pelletierung kann bis zu 84% der Pellets in der Fraktion 1 bis 4 mm hergestellt werden.

Das Brennen der Pellets geschieht z. B. indem zunächst durch ein Fließbett Heißluft mit Temperaturen zwischen 600 und 700°C als Wirbelluft geblasen wird. Nach kurzer Zeit pendelt sich die Temperatur der Wirbelschicht etwas unterhalb der Wirbellufttemperatur ein. Dann wird Granulat zugeführt und die Wirbelschichttemperatur steigt langsam bis auf etwa 750 bis 850°C. Bei dieser Temperatur zündet dann die Flugasche spontan und die Temperatur der gesamten Wirbelschicht steigt schnell auf über 1100°C. Die Verweilzeit der Pellets im Ofen beträgt je nach angestrebter Qualität 30 Sekunden bis 10 Minuten. Danach erfolgt ein schnelles Abkühlen an der Luft.

15 Im stationären Zustand werden in dem Maße, wie fertig gebrannte Pellets ausgetragen werden, grüne Pellets zugeführt. Für jedes einzelne Pellet läuft dann die oben beschriebene Reaktionsfolge ab.

Wichtige bevorzugte Eigenschaften des Leichtzuschlagstoffgranulats können z. B. wie folgt angegeben werden:

20	Kornform	rund mit geschlossener Oberfläche
	Schüttdichte	750 bis 820 kg/m <sup>3</sup>
	Kornrohdichte	1500 bis 1700 kg/m <sup>3</sup>
	Kornfestigkeit	29 bis 42 kN (entsprechend DIN 4226)

25 Ein Leichtzuschlagstoffgranulatkorn besitzt eine glasierte, dichte geschlossene Oberfläche in Form einer dichten Hülle, wobei der Innenraum unter der Hülle von Stegen umgebene Poren in der Verteilung einer Blähstruktur aufweist. Die meisten Poren sind kleiner als 40 µm, weshalb das Leichtzuschlagstoffgranulat besonders frostbeständig ist.

30 Der hohe Wassergehalt des Klärschlammes, verbunden mit einer erheblichen Geruchsbelästigung bei höheren Temperaturen, verhinderte oftmals einen Einsatz in der keramischen Baustoffindustrie. Der Nachteil des hohen Wassergehalts wird im Rahmen der Erfindung dadurch eliminiert, daß trockenes Material zugemischt wird, welches den Klärschlamm abtrocknet und eine für die Trocknung günstigere Porenstruktur schafft. Es werden also zwei Abfallstoffe gemischt und die daraus entstehende Mischung hat eine krümelige Konsistenz, wie ein 35 ganz normaler keramischer Rohstoff auch. Die Geruchsprobleme und der erhöhte Ausstoß unverbrannter Kohlenwasserstoffe bei Einsatz von Klärschlamm in der Ziegel- und Blähtonindustrie werden durch den Einsatz eines Wirbelschichtofens umgangen. Werden die Pellets nämlich direkt über der Wirbelschicht zugegeben, so verbrennen die entstehenden Gase entweder in der Wirbelschicht oder unmittelbar darüber. Durch die Anwendung der Wirbelschicht-Technologie kann Klärschlamm dann fast problemlos verarbeitet und seine unbestreitbaren Vorteile benutzt werden. Diese sind:

- Der vorhandene Heizwert vermindert den Energiebedarf bei der Herstellung.
- Klärschlamm ist ein guter Ausbrennstoff und Porenbildner und kann so z. B. Sägemehl ersetzen.
- Die Granuliereigenschaften werden durch den großen Anteil organischer Substanzen stark verbessert.
- Der Flußmittelgehalt erniedrigt geringfügig die Sintertemperatur.
- Die Feuchtigkeit, die zum Granulieren gebraucht wird, ist bereits im Klärschlamm enthalten und daher wird kein oder kaum zusätzliches Wasser gebraucht.

Die besonderen Vorteile der Verwendung von Flugasche sind:

50 — Ihre Korngrößenverteilung mit vielen kleinen Mikroglastkugeln.

— Das Fehlen von Wasser und ihre Fähigkeit, große Mengen Wasser aufzusaugen.

— Der noch vorhandene Rest Kohlenstoffgehalt bringt einen Energiebeitrag beim Brennen.

55 Durch die sinnvolle Kombination zweier Abfallstoffe und Einsatz einer Hochtemperaturwirbelschicht konnte ein Leichtzuschlagstoffgranulat geschaffen werden, das die Anforderungen der DIN 4226 erfüllt. Zusätzliche Prüfungen wie das Auslaugverhalten bei verschiedenen pH-Werten und die Aufnahmen am Rasterelektronenmikroskop zeigen, daß ein entstandener Glasfluß die Schwermetalle einbindet. Im Vergleich zu herkömmlichen Zuschlägen hat der in der Wirbelschicht gebrannte Zuschlagstoff eine runde, geschlossene Oberfläche, was für 60 die Verwendung von Vorteil ist.

Das Mischungsverhältnis wird so gewählt, daß der Energieverbrauch bei der Herstellung optimiert werden kann. Der untere Heizwert soll gerade dem Wert entsprechen, bei dem eine Verbrennung in der Wirbelschicht nicht energieautark abläuft. Um die gewünschte Temperatur von etwa 1135°C zu erreichen, wird eine geringe Menge Brennstoff zugeführt. Fällt die Brennstoffzufuhr aus, so kühlst die Wirbelschicht ab. Sollte die Brennstoffzufuhr nicht vollständig schließen, genügt es dann, die Pelletzufuhr zu reduzieren. Dies bedeutet für den Herstellungsprozeß eine inhärente Sicherheit, da die Temperatur immer auf zwei voneinander unabhängigen Werten beeinflußt werden kann.

Anhand der Zeichnungen wird die Erfindung im folgenden näher erläutert. Es zeigen:

14 Fig. 1 einen Verfahrensstammbaum eines bevorzugten Verfahrens zur Herstellung der erfindungsgemäßen Leichtzuschlagstoffgranulat,

Fig. 2 schematisch einen Schnitt durch ein Pellet zur Herstellung eines Granulatkorns.

Aus Fig. 1 ergibt sich, daß die Komponenten Tonsubstanz, Klärschlamm, Flugasche und Kalk, wie oben beschrieben, gemischt und pelletiert werden (Pfeile 1, 2, 3 und 4). Danach erfolgt eine Trocknung in einer Wirbelschicht (Pfeil 5). Die aus der Trocknung abzuführende abriebenthaltende Luft wird einem Staubabscheider (Zyklon) zwecks Abscheidung des Abriebs zugeführt (Pfeil 6). Der Abrieb wird in die Pelletivorrichtung geleitet (Pfeil 7).

Nach dem Trocknen werden die Pellets in eine Wirbelschicht transportiert (Pfeil 8). Der Wirbelschicht wird das gebrannte Leichtzuschlagstoffgranulat kontinuierlich entnommen und einem Kühlaggregat aufgegeben (Pfeil 9), aus dem es als sogenannter Leichtsand entlassen wird (Pfeil 10).

Für den Brennprozeß wird Luft durch den Kühler gedrückt (Pfeil 11), die sich erwärmt. Die erwärmte Luft gelangt dann in die Wirbelschicht (Pfeil 12) und durch die Schicht hindurch in einen Wärmetauscher (Pfeil 13), dem auch Luft aus dem Staubabscheider aufgegeben wird (Pfeil 14). Aus dem Wärmetauscher wird Luft zum Trocknen abgezogen (Pfeil 15).

Nicht dargestellt ist die Klassierung zwischen dem Trockner und dem Hochtemperaturwirbelschichtofen (Pfeil 8): Durch die Klassierung können Pelletkorngruppen separiert und anschließend bestimmte Gruppen in bestimmten Mengen zusammengestellt werden, so daß ein optimiertes Fluidisieren und Brennen ermöglicht werden kann.

Fig. 2 verdeutlicht den zonalen Aufbau eines zu brennenden, z. B. kugeligen Pellets. Das Pellet weist einen Kern 16 auf, der aus dem feuchten Gemisch aus Ton, Klärschlamm und Flugasche besteht. Um den Kern 16 ist eine geschlossene feuchte Tonschicht 17 aus feuchtem Ton angeordnet. Die Tonschicht 17 wiederum ist von einer feuchten Kalksteinmehlschicht 18 umhüllt. Die Kalksteinmehlschicht 18 ist so dick gewählt, daß sie beim Brennen außen trocken bleibt, jedoch eine Schmelzphasenhülle innenseitig mit der Tonschicht bilden kann. Die Tonschicht ist so dick ausgeführt, daß beim Brennen eine Schmelzphasenhülle entstehen kann und das Leichtzuschlagstoffgranulatkorn nach dem Brennen mit einer Glasurhülle versehen ist. Gegebenenfalls wird die Kalksteinmehlschicht 18 dicker ausgeführt, als für die genannten Zwecke erforderlich ist, wenn das Kalksteinmehl noch Schadgase wie HF und/oder  $\text{SO}_2$  aus der Ofenatmosphäre binden soll.

Die Hüllen aus Ton und Kalk weisen in der Regel ein Dickenverhältnis von ... bis ... auf. Sie sind vorzugsweise 0,1 bis 3 mm (Tonschicht) und 0,1 bis 1 mm (Kalkschicht) dick für Kerne 16 mit einem Durchmesser von 1 bis 4 mm.

Die Glasurhülle ist in der Regel 10 bis 50  $\mu\text{m}$  dick.

Im Rahmen der Erfindung wurde ein Verfahren aufgefunden, bei dem sowohl Klärschlamm als auch Flugasche in erheblichen Mengen zur Leichtzuschlagstoffherstellung verwendet werden können. Der produzierte Zuschlagstoff entspricht in allen gemessenen Werten den DIN-Vorschriften. Kernpunkte des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Art der Pelletierung, bei der nasser und trockner Abfallstoff in einem solchen Verhältnis gemischt werden, daß eine pelletierfähige Masse entsteht und der Brennvorgang, der in der Wirbelschicht stattfindet. Dadurch ist die Herstellung eines Korngrößenintervalls von etwa 1 bis 4 mm möglich. Ein Leichtzuschlagstoffgranulat dieser Größe war bisher nicht herstellbar. Das Leichtzuschlagstoffkorn hat eine geschlossene Kornoberfläche und ist daher für die Verwendung besser geeignet als gebrochener Zuschlagstoff. Im Rahmen der Erfindung ist es möglich, das Herstellungsverfahren soweit zu optimieren, daß sehr leichte Zuschlagstoffe hergestellt werden können.

Die Temperatur über der Wirbelschicht ist vorzugsweise größer als die Temperatur in der Wirbelschicht wegen der Nachoxidation der aus den Pellets austretenden und in der Wirbelschicht nicht vollständig verbrannten Gase. Zusätzlich soll vorzugsweise ein Temperaturanstieg auf über 1200°C erfolgen, z. B. mit Stützbrennern. Dadurch wird die Möglichkeit der sauberen Verbrennung ggf. enthaltenen Dioxine, PCB und sonstiger toxischer organischer Verbindungen sichergestellt.

#### Patentansprüche

1. Poröses geblähtes und/oder gesintertes und/oder ausgebranntes Leichtzuschlagstoffgranulat, hergestellt aus einem feuchten Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz, durch Granulieren des Gemisches zu Pellets, Trocken der Pellets, keramisches Brennen mit Blähen der Pellets und Abkühlen des gebrannten Granulats, wobei aufgrund des Herstellungsverfahrens geblähte Granulatkörper gebildet werden, die oberflächlich eine geschlossene Sinterhaut aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß das Korn des Granulats einen Kern aus einem gebrannten Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz aufweist, auf dem Kern eine geschlossene wasserdichte Glasurhülle als Reaktionsprodukt aus gebranntem Ton, Kalksteinmehl und dem Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Ton angeordnet ist.
2. Granulat nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es im Kornband zwischen 0,5 bis 4 mm liegt.
3. Granulat nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es im Kornband zwischen 1 und 3 mm liegt.
4. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasurhülle aus Calciumaluminiumsilikat besteht.
5. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß es durch ein Wirbelschichtverfahren gebrannt hergestellt ist.
6. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kornform der Granulatkörper rund ist.
7. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Schüttdichte zwischen 700 und 820  $\text{kg}/\text{m}^3$  aufweist.

8. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Kornrohdichte zwischen 1500 und 1700 kg/m<sup>3</sup> aufweist.
9. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Kornfestigkeit zwischen 29 und 42 kN (entsprechend DIN 4220) aufweist.
10. Granulat nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Masse der Poren einen Porendurchmesser kleiner 40 µm aufweist.
11. Verfahren insbesondere zur Herstellung eines Leichtzuschlagstoffgranulats nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, durch Mischen von Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz, Granulieren des Gemisches zu kugelförmigen Pellets, Trocknen und Vorwärmern der Pellets, keramisches Brennen mit Blähen und/oder Sintern und/oder Ausbrennen der Pellets zu einem geblähten und/oder gesinterten und/oder ausgebrannten Granulats und Abkühlen des Granulats, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst für die Herstellung der Pellets das Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz zur Bildung eines Pelletkerns granuliert wird, anschließend auf dem Kern eine Tonsubstanzhülle und auf die Tonsubstanzhülle eine Kalksteinmehlhülle aufgebracht werden, und daß das Brennen in einer Wirbelschicht durchgeführt wird, wobei insbesondere kontinuierlich Pellets zugeführt und gesintertes, poröses Granulat abgeführt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß Pellets hergestellt werden, die die folgende Zusammensetzung aufweisen:

20 Kern:  
10 bis 60 Gew.-% Klärschlamm  
10 bis 50 Gew.-% Flugasche  
5 bis 50 Gew.-% Tonsubstanz  
1. Hülle:  
10 bis 40 Gew.-% Tonsubstanz  
2. Hülle:  
10 bis 40 Gew.-% Kalksteinmehl

13. Verfahren nach Anspruch 11 und/oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer Pelletierfeuchte des Gemisches aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz zwischen 12 und 40% gearbeitet wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Hülle ohne weitere Wasserzugabe aufgebracht werden.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß Pellets eines Kornbandes zwischen 0,5 und 4 mm hergestellt werden.
16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß als Klärschlamm Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen verwendet wird.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß Flugasche aus Kraft- und/oder Heizwerken verwendet wird.
18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine kaolinitische/illitische Tonsubstanz verwendet wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Tonsubstanz ein Lias-Ton verwendet wird.
20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Mischen und Pelletieren der Komponenten Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz in einem Pelletiermischer durchgeführt wird.
21. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Tonsubstanz der ersten Hülle aufgepudert wird.
22. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Kalksteinmehl der zweiten Hülle aufgepudert wird.
23. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Trocknen der Pellets in einer Wirbelschicht durchgeführt wird, vorzugsweise bei Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,2 und 2 m/s.
24. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Pellets nach dem Trocknen auf Temperaturen zwischen 70 und 100°C vorgewärmt werden.
25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst ein Pelletbett aus vorgewärmten Pellets auf einem Anströmboden gebildet und anschließend Heißluft einer Temperatur von 400 bis 800°C als Wirbelluft zur Bildung eines Wirbelbetts eingeblasen wird, danach weitere Pellets zugeführt werden, so daß die Wirbelschichttemperatur aufgrund des Verbrennens der brennbaren Anteile der Klärschlamm auf 750 bis 850°C gebracht wird, wonach der brennbare Anteil der Flugasche, d. h. der Kohlenstoffgehalt der Flugasche spontan zündet und die Temperatur der Wirbelschicht in der letzten Brennphase schnell auf über 1100°C gesteigert wird und dabei die Schmelzschicht gebildet und die Pellets gebläht und/oder gesintert und/oder ausgebrannt werden, indem sie wenige Minuten in diesem Temperaturbereich in der Wirbelschicht gehalten und danach ausgetragen werden.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Brennen in der letzten Phase bei Temperaturen zwischen 1125 und 1135°C wenige Minuten in der Wirbelschicht durchgeführt wird.
27. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß mit Fluidisierungsgeschwindigkeiten in der Wirbelschicht zwischen 0,2 und 15 m/s gearbeitet wird.
28. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß ein

Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz verwendet wird, das einen unteren Heizwert zwischen 400 und 8600 und einen oberen Heizwert zwischen 500 und 9000 aufweist:

29. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erreichen der gewünschten Brenntemperatur in der letzten Brennphase Brennstoff zugeführt wird.

30. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regulierung der Brenntemperatur in der letzten Brennphase entweder die Brennstoffzufuhr gedrosselt oder die Pelletzufuhr reduziert wird.

31. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung einer Überhitzung der Wirbelschicht nicht energieautonome Brennwechsel durchgeführt werden.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß als Hauptanteil der Brennenergie Klärschlamm und kohlenstoffhaltige Flugasche verwendet werden.

33. Pellets für die Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 32, gekennzeichnet durch einen Kern aus einem feuchten Gemisch aus Klärschlamm, Flugasche und Tonsubstanz, einer Tonsubstanzhülle auf dem Kern sowie einer Kalksteinmehlhülle auf der Tonsubstanzhülle.

34. Pellets nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Zusammensetzung gemäß Anspruch 13 aufweisen.

35. Pellets nach Anspruch 32 und/oder 34, dadurch gekennzeichnet, daß sie im Kornband zwischen 0,5 und 4 mm liegen.

36. Pellets nach einem oder mehreren der Ansprüche 33 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Tonsubstanz aus einem blähfähigen Ton besteht.

37. Pellets nach einem oder mehreren der Ansprüche 33 bis 36, gekennzeichnet durch einen Wassergehalt zwischen 12 und 40%.

38. Pellets nach einem oder mehreren der Ansprüche 33 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß sie kugelförmig sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

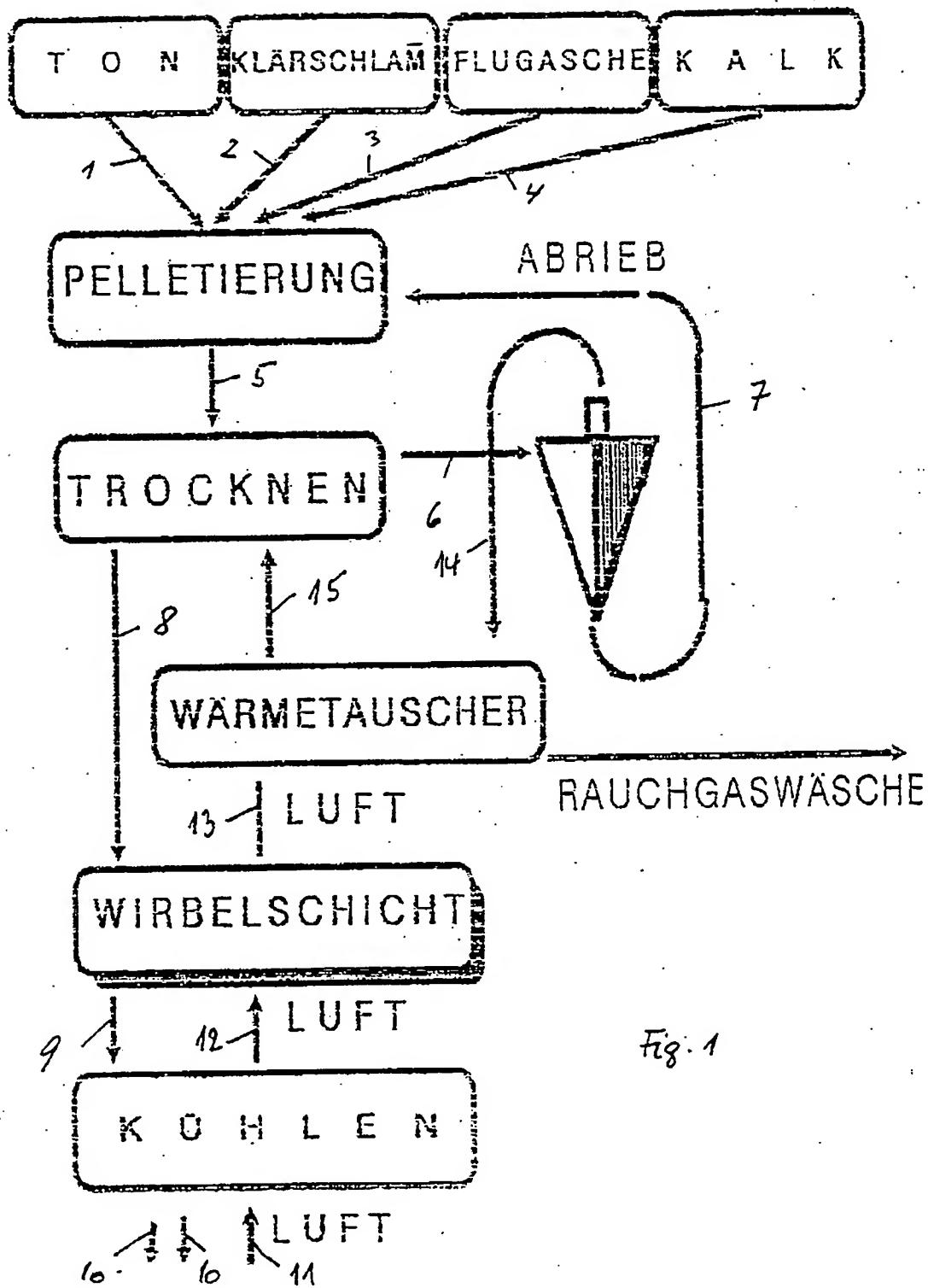
50

55

60

65

— Leerseite —



Leichtsand

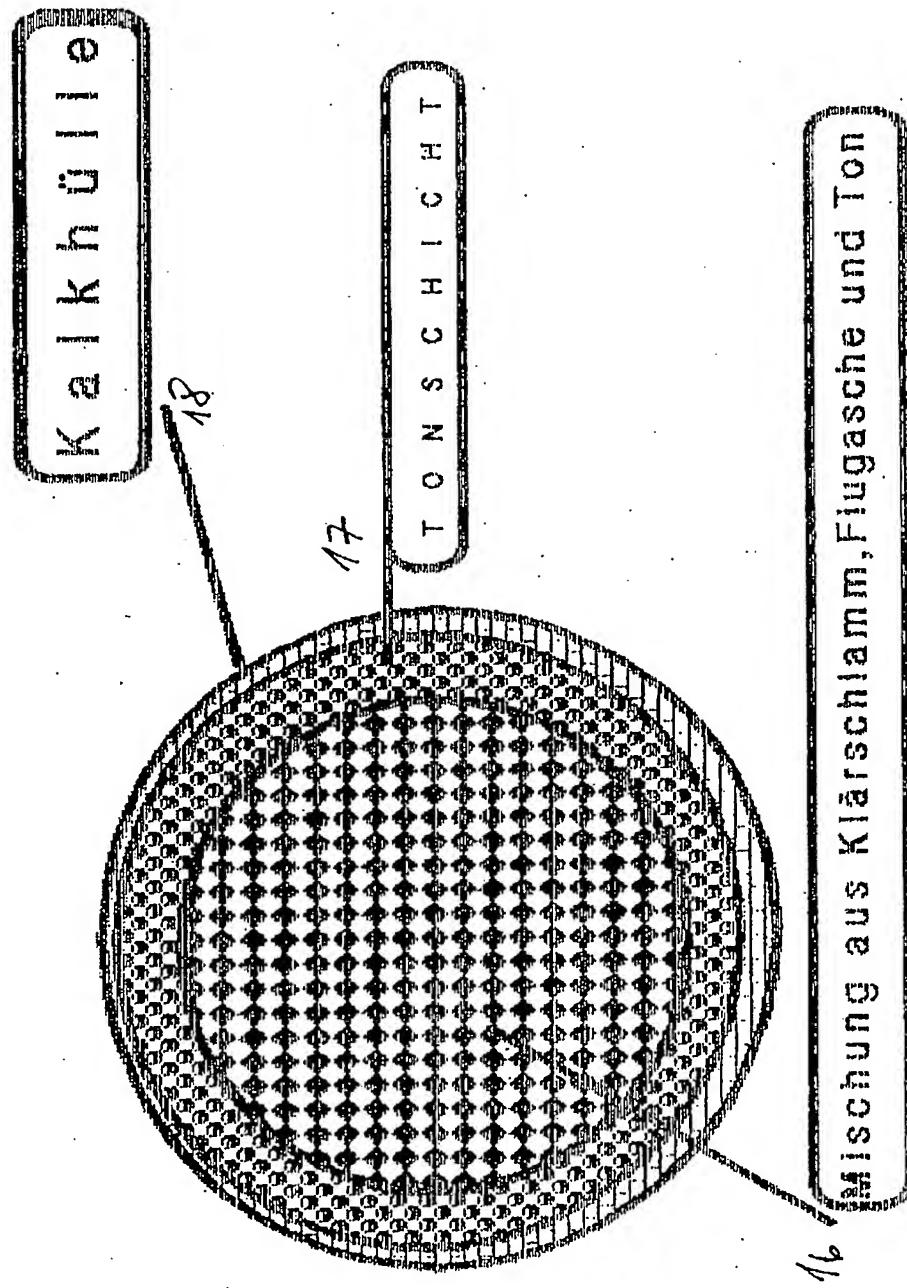


Fig. 2